

energytech.at

[energy technology austria]

Die Internet-Plattform für
innovative Energietechnologien
in den Bereichen
Erneuerbare Energieträger
und Energieeffizienz

<http://energytech.at>

TechnologiePortrait Photovoltaik

arsenal research

arsenal
research

bmvit
Bundesministerium für
Verkehr, Innovation und
Technologie

energytech.at

Impressum

energytech.at - TechnologiePortrait Photovoltaik

Medieninhaber:
arsenal research
Geschäftsfeld Erneuerbare Energie
Faradaygasse 3
1030 Wien
Tel: 050 550- 6382/ Fax: DW 6390
E-mail: heidenreich.m@arsenal.ac.at
Internet: www.arsenal.ac.at

Auftraggeber:

Diese Publikation wurde für energytech.at im Auftrag der Energieverwertungsagentur - EVA - und des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien) erstellt.

Der Nachdruck und die Übersetzung, auch auszugsweise, sind nur mit Quellenangabe erlaubt und bedürfen der ausdrücklichen Genehmigung der Autoren.

Erhältlich unter: <http://energytech.at/photovoltaik/portrait.html>

PHOTOVOLTAIK - STROM AUS SONNENLICHT

0. EINLEITUNG	4
1. SOLARSTRAHLUNG	5
2. SOLARZELLEN	6
2.1 Grundlagen	6
2.2 Solarzellentypen	8
2.3 Wirkungsweise von Solarzellen	10
3. PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN	13
3.1. Inselanlagen	13
3.2. Netzparallelbetrieb	14
3.3. Wechselrichter	16
3.4. Ausrichtung der Photovoltaik-Module	16
3.5. Nachführung der Photovoltaik-Module	16
3.6. Leistungsausbeute einer Photovoltaikanlage	17
3.7. Speicher	17
3.8. Kosten	18
3.9. Photovoltaik im Verbundnetz	19
4. MARKTDATEN	20
5. DIE ZUKUNFT DER PHOTOVOLTAIK	22
6. LITERATUR	24

0. EINLEITUNG

Als Photovoltaik bezeichnet man die **direkte Umwandlung von Licht in elektrische Energie**. Diese sehr umweltfreundliche Art der Energieumwandlung steht unbegrenzt zur Verfügung, denn die Energiequelle ist Sonnenlicht. Darüber hinaus treten im Betrieb weder Lärm- noch Schadstoffemissionen auf und durch die kombinierte Nutzung von Dächern und Fassaden (zur Stromproduktion) wird auch zusätzlicher Platzbedarf vermieden.

Aus physikalischer Sicht ist die in Strom umgewandelte Sonnenenergie eine äußerst hochwertige Energieform mit hoher Exergie. Das heißt, daß ein hoher Anteil von dieser in jede andere Energieform (mechanisch, chemisch, thermisch) umgewandelt werden kann. Dagegen ist die Umwandlung von Wärme oder innerer Energie in andere Energieformen durch den zweiten Hauptsatz der Wärmelehre begrenzt.

Solarzellen - Sonnenkollektoren

Vielfach werden diese beiden Solartechnologien verwechselt.

Solarzellen sind meist bläulich glänzende elektronische Halbleiterelemente, die unter Sonneneinstrahlung elektrischen Strom erzeugen.

Als Sonnenkollektoren werden dagegen thermische Energiewandler bezeichnet, die die einfallende Sonnenstrahlung in Wärme umwandeln und diese an ein Trägermedium (meist Wasser-Frostschutzgemisch) weiterleiten. Sonnenkollektoren werden zur Brauchwassererwärmung und zur Raumheizung genutzt.

Die negativen Umweltauswirkungen der Photovoltaik sind relativ gering. Dies gilt besonders im Vergleich zum Ressourcenverbrauch und zur Emissionsbilanz anderer Energietechnologien. Zusätzliche positive Effekte sind:

- Hohe gesellschaftliche Akzeptanz (besonders im Vergleich zu Systemen mit fossilen oder nuklearen Energieträgern)
- Dezentrale Erzeugung mit hoher Versorgungssicherheit
- Nutzung eines Energieträgers mit regionaler Wertschöpfung
- Verminderung der wirtschaftlichen Abhängigkeit von Energieimporten und Weltmarktpreisen
- Unterstützung des Umbaus der Wirtschaft und der Beschäftigung im Sinne der Nachhaltigkeit

1. SOLARSTRAHLUNG

Das technische Potential für den Einsatz von Photovoltaik ist zweifelsohne gegeben: Für Österreich gilt, daß an einem einzigen wolkenlosen Tag von der Sonne etwa die Energiemenge auf die Fläche Österreichs gestrahlt wird, die Österreich in einem Jahr verbraucht. In Zahlen ausgedrückt heißt das: die jährliche Einstrahlung auf die horizontale Fläche in Österreich beträgt etwa 1100 kWh/m², in Nordafrika etwa 1700-1900 kWh/m². Das Maximum an Sonneneinstrahlung von 2200 kWh/m² wird in Teilen Australiens, Süd- und Zentralafrikas sowie in einigen Gebieten Amerikas erreicht.

Österreich hat durch seine alpine Lage auch Vorteile in der Sonnenenergienutzung, da mit zunehmender Höhenlage die Einstrahlungssumme ansteigt. Die steigende Leistungsausbeute kristalliner Solarzellen bei sinkenden Temperaturen von etwa 0,5% pro °C, sowie die reinere Luft und mögliche Schneereflexionen bringen z.B. beim Sonnenkraftwerk am Loser/Altaussee besonders in den Wintermonaten äußerst günstige Werte.

Ein wichtiger Begriff, wenn man von Strahlung spricht, ist die Globalstrahlung. Damit wird die Summe aus direkter Sonnenstrahlung (Strahlung aus der Richtung der Sonnenscheibe) und der diffusen Strahlungsanteile bezeichnet, die durch Reflexion und Streuung in der Atmosphäre auftreten. Bei bedecktem Himmel gibt es keine direkte Einstrahlung, bei wolkenlosen Himmel beträgt der diffuse Anteil abhängig vom Ort und der Höhenlage mindestens 10-20 %.

Auch der diffuse Strahlungsanteil wird bei der photovoltaischen Stromproduktion genutzt. Bei dicht bedecktem Himmel ergibt sich aber eine starke Leistungsreduktion auf etwa 10% des Maximalwertes, wobei dieser Wert stark anlagenabhängig ist.

Prinzipiell gibt es die Möglichkeit mit Linsen oder anderen Konzentratoren die Leistung einer Solarzelle zu erhöhen. Konzentratormodule müssen der Einstrahlungsrichtung der Sonne nachgeführt werden. Das Problem dabei ist jedoch, daß man nur die direkte Sonnenstrahlung konzentrieren kann, was in sonnenreichen Gegenden einfach möglich ist. In gemäßigteren Breiten, wie in denen Mitteleuropas aber wird - über das Jahr betrachtet - ein großer Teil der Sonnenenergie durch diffuse Sonnenstrahlung auf die Erde gestrahlt. Da konzentrierende Systeme, wie bereits erwähnt, diffuse Strahlung aber nicht bündeln können, wird auf deren Einsatz in Gebieten mittlerer Einstrahlung meistens verzichtet.



Bild: Fassade der Firma Hirschmann, Rankweil
Quelle: stromaufwärts PV, message, Medien & Verlags GmbH

2. SOLARZELLEN

2.1 Grundlagen

Der photovoltaische Effekt wurde bereits 1839 vom Franzosen E. A. Becquerel entdeckt. Dabei werden in einem mit Fremdatomen versehenen Halbleitermaterial (Grundmaterial Silizium) durch die auftreffenden Photonen des Sonnenlichtes Energiezustände im Halbleitermaterial geschaffen, die eine elektrische Spannung hervorrufen. Werden die beiden Enden der Metallkontaktierungen auf der dünnen Halbleiterscheibe geschlossen, so fließt Strom. Diese Vorgänge werden im folgenden noch detaillierter beschrieben.

Die erste wesentliche Voraussetzung für diese Technologie ist der sogenannte Photoeffekt. Lichteinstrahlung (in Form von Photonen) kann Elektronen aus ihren atomaren Bindungen "herausschlagen". Beim sogenannten äußeren Photoeffekt treten Elektronen aus dem Material aus, beim sogenannten inneren Photoeffekt, der in Halbleitermaterialien auftritt, entstehen dadurch freie Ladungsträger.

Alle Feststoffe lassen sich nach der Menge und der freien Beweglichkeit der Ladungsträger in drei Gruppen einteilen. Bei den Isolatoren sind alle Elektronen fest an die zugehörigen Atome gebunden – es existiert keine Leitfähigkeit. Bei Metallen sind die Elektronen frei im Kristallverband beweglich – die Leitfähigkeit ist dadurch sehr hoch. Bei Halbleitern hingegen sind die Elektronen im Kristallverband an die Atome schwach gebunden, Energiezufuhr kann sie jedoch freisetzen.

Betrachten wir ein ideales Siliziumgitter: Von den 14 Elektronen, die den 14-fach positiv geladenen Atomkern umgeben, sitzen vier in der äußersten Hülle. Diese Valenzelektronen stellen die Bindungen zu den Nachbaratomen her (paarweise mit den Elektronen der Nachbaratome). Durch Energiezufuhr können Bindungen aufgebrochen

werden, an der Stelle eines freigesetzten Elektrons (negativer Ladungsträger) entsteht ein sogenanntes Loch (oder Defektelektron, positiver Ladungsträger).

Werden in das Siliziumgitter Fremdatome mit 5 Valenzelektronen eingebaut entsteht ein freier Ladungsträger, da ein Elektron für die Bindung im Gitter nicht benötigt wird. Es entsteht ein sogenannter n – Leiter, die in der Überzahl vorhandenen Ladungsträger sind Elektronen (negative Ladungsträger). Fügt man in das Siliziumgitter Atome der 3. Gruppe ein (3 Valenzelektronen) entstehen freie positive Ladungsträger (Defektelektronen), man spricht von einem p – Leiter.

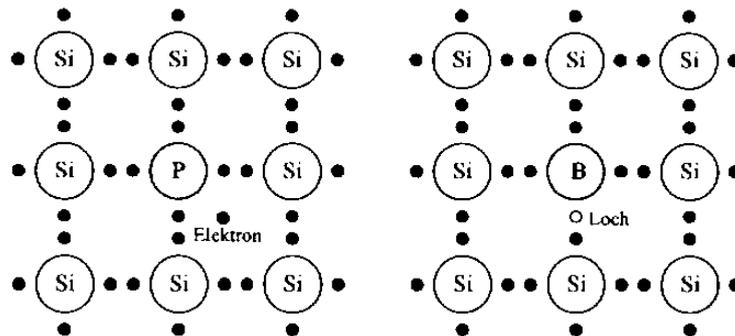


Bild: Mit Phosphor bzw. Bor dotiertes Siliziumgitter

Quelle: Volker Quaschnig, Regenerative Energiesysteme, Carl Hanser Verlag München Wien

Ein für die Halbleitertechnik und für die Funktionsweise von Solarzellen grundlegendes Element ist ein sogenannter p – n Übergang. Dabei grenzen ein p- und ein n- Halbleiter aneinander. Die freien positiven Ladungsträger des p- Leiters diffundieren in die n – Schicht, die freien negativen Ladungsträger des n – Leiters diffundieren in die p – Schicht. Dieser Diffusionsprozeß wird rasch gestoppt. Denn die Atome der n – Schicht sind durch Abgabe der Elektronen in die p – Schicht positiv geladen, die Atome der p – Schicht sind durch Abgabe der Defektelektronen negativ geladen. Eine sogenannte Verarmungszone (an freien Ladungsträgern) entsteht am p – n Übergang durch die aufgebaute Sperrspannung.

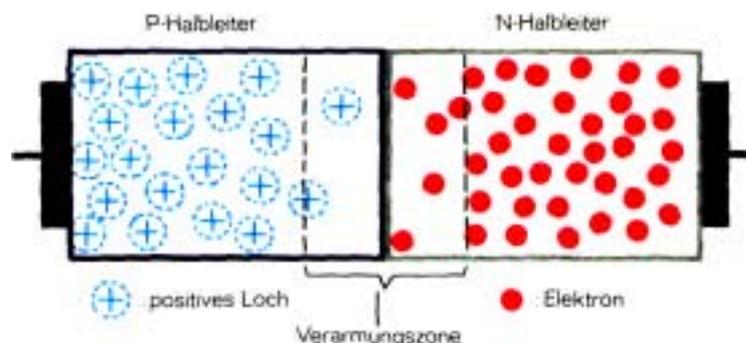


Bild: Schematische Darstellung eines p – n Übergangs.

Quelle: Edgar Lüscher, Pipers Buch der modernen Physik, R. Piper & Co. Verlag München Zürich

Wird der p – Übergang mit einem äußeren Stromkreis verbunden, so fließt zunächst kein Strom, wenn aber durch den oben erwähnten inneren photoelektrischen Effekt (in der

Nähe der Raumladungszone) zusätzliche Ladungsträgerpaare erzeugt werden, steigt die Spannung und Strom fließt, da das System bestrebt ist, wieder seinen Gleichgewichtszustand herzustellen.

In der technischen Anwendung kommt es zu einer Zusammenschaltung vieler solcher Einzelzellen, wodurch entsprechend hohe Spannungen realisiert werden können.

Der Grundstoff für die heute am weitesten verbreiteten Solarzellen ist Silizium, eines der häufigsten Elemente der Erde. Es muß aber für die Halbleitertechnik in sehr reiner Form vorliegen.

Der Durchbruch in der Entwicklung der Solarzellen wurde Mitte der Fünfzigerjahre geschafft, als es galt, die Energieversorgung der Raumfahrt zu gewährleisten. Für diesen Anwendungszweck war neben dem geringen Gewicht die hohe Zuverlässigkeit von solarer Stromversorgung entscheidend.

2.2 Solarzellentypen

Monokristalline Silizium-Solarzellen

Grundelement für die Solarzellenproduktion ist Silizium, das in Form des Quarzsandes das zweithäufigste Element der Erde ist.

Der Herstellungsvorgang des äußerst reinen **monokristallinen Siliziums** ist extrem aufwendig: Silizium-Einkristalle werden aus einer gereinigten Siliziumschmelze gezogen, wobei für den geordneten Kristallaufbau eine Ziehgeschwindigkeit von maximal 30 cm pro Stunde möglich ist (Czochralski-Verfahren). Die Folge davon ist, daß das Endprodukt sehr teuer ist. Allerdings wird mit monokristallinem Silizium der beste Wirkungsgrad aller Silizium-Solarzellen erzielt (bis ca.18%).

Kristalline Zellen weisen eine regelmäßige Kristallstruktur auf.

Monokristalline Zellen: sind Zellen, die nahezu keine Verunreinigungen aufweisen. Sie haben eine ideale Gitterstruktur, sind aber sehr aufwendig in der Herstellung

Polykristalline Zellen enthalten in der Gitterstruktur Fremdatome (Verunreinigungen), die Herstellung ist aber entsprechend einfacher, was sich in einem geringeren Zeitaufwand und damit natürlich auch in geringeren Kosten niederschlägt.

Die gereinigte Siliziumschmelze wird in Blöcke gegossen und anschließend wie auch die monokristalline mit einer Säge in Scheiben von 0,25 bis 0,4 mm Dicke zersägt. Beim Zersägen entsteht viel Abfall, der besonders bei der monokristallinen Technik die Kosten in der Produktion wieder steigert.

Der erreichte Wirkungsgrad von polykristallinen Zellen beträgt etwa 15%.

Amorphe Zellen weisen keine regelmäßige Kristallstruktur auf; Eine Schicht aus amorphem Silizium (amorph=gestaltlos) wird auf eine Trägerplatte (Glas, Kunststoff) aufgebracht. Zur Erreichung des photovoltaischen Effektes sind nur sehr dünne Schichten notwendig (ca.0,01 mm, sogenannte Dünnschichtzellen).

Amorphe Zellen sind die billigsten Zellen. Vor allem in der Herstellung ist wesentlich weniger Energie notwendig, die "energetische Amortisationszeit" daher entsprechend geringer. Der Wirkungsgrad liegt bei kommerziell verfügbaren Zellen deutlich unter 10%,

Häufig begegnen uns amorphe Solarzellen in elektronischen Kleingeräten wie Uhren und Taschenrechnern.

Nach der Herstellung der Siliziumkristalle werden im darauffolgenden Produktionsschritt - der "Dotierung" - durch Einbringen von chemischen Elementen (z.B. Phosphor und Bor) aus dem Silizium ein p-Halbleiter (bei Dotierung mit Phosphor), bzw. ein n-Halbleiter (bei Dotierung mit Bor) erzeugt.

Durch das Zusammenfügen dieser beiden Schichten entsteht ein p-n Übergang der für die Wirkungsweise der Solarzelle (wie auch anderer elektronischer Bauelemente) entscheidend ist. (Nähere Details sind im Kapitel Grundlagen zusammengefaßt). Weitere Informationen findet man auch in /6/.

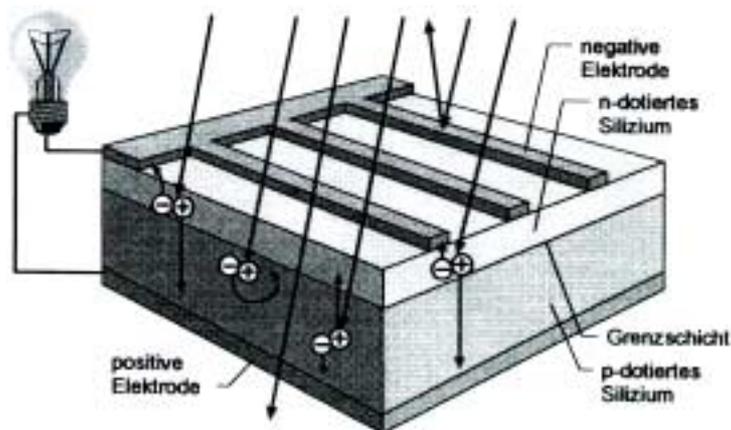


Bild: Prinzipieller Aufbau einer kristallinen Solarzelle

Quelle: Volker Quaschnig, Regenerative Energiesysteme, Carl Hanser Verlag München Wien

Andere Solarzellentypen

Andere Grundstoffe wie Galliumarsenid, Cadmiumtellurid, Kupferindiumdiselenid, - oder einige weitere - können auch für die Produktion von Solarzellen verwendet werden, doch muß jeweils eine mögliche Toxizität beachtet werden.

Solarzellen aus Cadmiumtellurid sind in der Produktion wesentlich günstiger, ihr Weltmarktanteil beträgt derzeit jedoch nur etwa 1 %. Bei diesem Grundmaterial ist die Umweltverträglichkeit (Schwermetalle) jedoch ein kritischer Punkt. Bei Störfällen (z.B. Brand) oder bei der Entsorgung der Zellen sind Cadmiumemissionen nicht zu vermeiden.

Mit Solarzellen aus Kupfer – Indium – Diselenid werden im Labor Wirkungsgrade bis 17 % erzielt. In größerem Maßstab findet jedoch noch keine Produktion statt.

Materialeinsatz

Während mono- und multikristalline Solarzellen mit einem gewissen Einsatz an Aluminium verbunden sind, ist bei amorphen Zellen der Bedarf an Kupfer erwähnenswert. Amorphe Solarzellen mit ihrem geringen Bedarf an Silizium zeigen jedoch, bedingt durch den kleineren Wirkungsgrad und dem damit verbundenen erhöhten Zement-, Stahl- und Glasbedarf für die Gesamtanlage, eine höhere Materialbindung als Anlagen mit mono-

oder multikristallinen Zellen. Bei Dachanlagen fällt der Ressourcenverbrauch für Zement und Stahl, wie er bei großen Photovoltaik-Kraftwerken auftritt, größtenteils weg.

Emissionsbilanz

Jene Emissionen, die unmittelbar mit der Anlage verbunden sind, können grob in produktionstechnische und energetische für die Herstellung der Anlagenkomponenten und für die Errichtung und Entsorgung sowie für die Materialbereitstellung unterschieden werden.

Die Strombereitstellung mit amorphen Zellen weist die kleinsten spezifischen Emissionen auf. Der Einsatz monokristalliner Zellen bringt weniger Emissionen mit sich als der Einsatz multikristalliner Zellen. Die Herstellung kristalliner Zellen ist mit HCl-Emissionen und die Herstellung amorpher Zellen ist mit NH₃-Emissionen verbunden.

Insgesamt werden die mit der Photovoltaik verbundenen Emissionen jedoch von den vermiedenen Emissionen in Kraftwerken mit fossilen Energieträgern deutlich übertroffen.

2.3 Wirkungsweise von Solarzellen

Die Rückseite der Solarzelle besteht aus einem ganzflächigen metallischen Kontakt, während die der Sonnenstrahlung zugewandte Seite mit einem metallischen fingerförmigen Kontaktsystem versehen ist. Zur Vermeidung von Reflexionen an der Oberfläche wird eine Antireflexionsschicht aufgebracht, wodurch es zum bläulichen Glanz der Solarzelle kommt. Ein spezielles Hartglas und ein stabiler Rahmen sorgen für die mechanische Festigkeit.

Kristalline Solarzellen haben eine Leerlaufspannung von etwa 0,6 Volt und einen maximalen Kurzschlußstrom bei einer Fläche von 10 x 10 cm von etwa 3 Ampere. Aufgrund dieser geringen Spannung einer einzelnen Zelle werden viele Zellen hintereinander geschaltet ("in Serie"), um eine für den Verbraucher sinnvoll verwendbare Spannung zur Verfügung zu haben. Häufig werden Spannungen von etwa 15 Volt realisiert, was eine maximal erzielbare Gesamtleistung von etwa 40-60 Watt ergibt. Die so erzeugten Einheiten werden als Photovoltaik-Module oder -Paneele bezeichnet.

Elektrische Eigenschaften von Solarzellen:

Bei kristallinen Solarzellen ändert sich mit der Zelltemperatur der Wirkungsgrad in der Weise, daß bei niederen Temperaturen eine höhere Leistung erzielt wird.

Man erkennt bei den Kennlinien einen Punkt wo die abgegebene Leistung maximal ist, nämlich dort, wo das Produkt aus Spannung und Strom maximal wird (MPP, Maximal Power Point).

Für den Betrieb einer Photovoltaikanlage gilt es, sie stets in diesem Punkt zu betreiben.

Bei Betrieb mit einem Solarwechselrichter (wird weiter unten im Text beschrieben) übernimmt dieser die Aufgabe der Leistungsmaximierung.

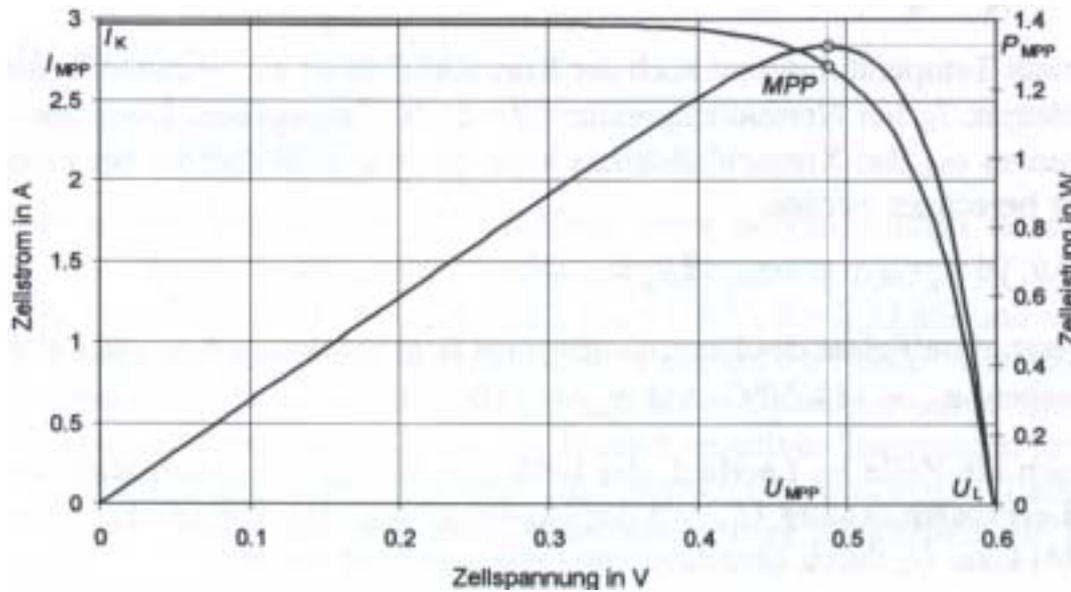


Bild: I – U (Strom – Spannung) Kennlinie und P – U (Leistung – Spannung) Kennlinie einer Solarzelle mit dem MPP.

Quelle: Volker Quaschnig, Regenerative Energiesysteme, Carl Hanser Verlag München Wien

Für eine Einstrahlungsintensität von 1000 W m^{-2} , für ein Sonnenspektrum entsprechend AM 1.5, für senkrechten Strahlungseinfall auf die Solarzellen und für eine Modultemperatur von 25 °C kann für ein bestimmtes Modul oder alle Module einer Anlage im MPP ein standardisierter Leistungswert angegeben werden. Dabei fügt man der Einheit Watt das Wort (peak) hinzu. Oft schreibt man einfach nur W_p . Bei den Standardbedingungen für die Ermittlung des Wertes durch eine Prüfstelle für das Modul steht Air Mass (AM) 1,5 für einen Strahlungsweg durch die Erdatmosphäre mit 1,5 facher Luftmasse im Vergleich zum senkrechten Weg durch die Atmosphäre.

Alterung der Solarzelle

Wie jeder Körper verändert sich auch die Solarzelle und deren Leistung unter dem Einfluß der Alterung. Für handelsübliche mono- oder polykristalline Silizium-Solarzellen ist das Problem der Alterung sekundär. Solarzellen, die fachgerecht verkapselt werden, halten Jahrzehnte und verkleinern ihre Leistung nur unwesentlich. Bei amorphem Silizium spielt die Alterung hingegen eine Rolle.

Allgemein bezeichnend für Solarzellen ist ihre hohe Zuverlässigkeit und ein nahezu wartungsfreier Betrieb.

Als äußerst gut kann auch die mechanische Beanspruchbarkeit bezeichnet werden: Beim alpinen Einsatz der Solarmodule am Loser/Altaussee ist von den 601 montierten Modulen in den ersten 4 Betriebsjahren nur ein einziges durch Glasbruch ausgefallen, bei den amorphen Zellen an der HTBLA-Leonding wurde (was für die amorphe Technik kennzeichnend ist) nach einem anfänglichen Leistungsrückgang eine Stabilisierung des Wirkungsgrades festgestellt. (Staebler-Wronski-Effekt). /3/

Energetische Amortisationszeit

Eine Energiealternative ist natürlich nur dann sinnvoll, wenn die Energie, die zu ihrer Erzeugung benötigt wird, entsprechend geringer ist, als die Energiemenge, die sie im Lauf ihrer Lebensdauer umwandelt. Für den Bereich der Photovoltaik gilt folgendes:

Der Zeitraum für die Rücklieferung der Erzeugungs-Energiemenge ("pay back-time") liegt etwa bei 2 bis 5 Jahren. Bei einer Einstrahlung von $1900 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, die sonnigeren Gebieten entspricht, reduziert sich diese Zeit auf 1,6 Jahre. Für amorphe Silizium-Zellen, für deren Herstellung entsprechend weniger Energie notwendig ist, liegen die Vergleichswerte bei $1100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ 1,6 Jahren, bzw. bei $1900 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ 0,9 Jahren. Vorausgesetzt wurde dabei der Gesamtenergieaufwand bei kommerzieller Erzeugung (Jahresproduktion $> 1,5 \text{ MW}$), polykristalline Zellen mit einem Wirkungsgrad von 12%, sowie eine Sonneneinstrahlung für mitteleuropäische Verhältnisse von 1100 kWh pro Quadratmeter und Jahr.

Flächenbindung

Wirkungsgradbedingt ist der Flächenbedarf von Anlagen mit amorphen Solarzellen am größten. Bei Photovoltaikanlagen auf ebenen Flächen ist aus meteorologischen Gründen in Mitteleuropa ein gewisser Abstand zwischen den Paneelen mit energetisch optimaler Neigung notwendig. Daraus ergibt sich in diesem Fall ein Flächenbedarf, der etwa der dreifachen Modulfläche entspricht.

Bei der Gebäudeintegration der Photovoltaik mit ihrem enormen Potential erfolgt überhaupt keine Flächenbindung im eigentlichen Sinn, da es sich um eine Sekundärnutzung handelt.

3. PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN

Für größere Leistungen werden die Solar-Module parallel und seriell verschaltet; dadurch können verschiedene Spannungs- und Stromzustände hergestellt werden. Bei der Parallelschaltung addieren sich die Ströme, bei der Serienschaltung die Spannungen. Im Falle der Serienschaltung bestimmt die schwächste Zelle den Strom. Es werden daher in einem Modul nur Zellen mit möglichst gleichem Strom (im Punkt maximaler Leistung) zusammenschaltet. Ebenso sollte darauf - in der nächsten Stufe - beim Zusammenschalten von Modulen geachtet werden. Schutzdioden (sie erlauben Stromfluß nur in einer Richtung) werden verwendet, um bei Abschattung einer Zelle oder eines Moduls zu verhindern, daß dieses als Verbraucher wirkt.

Beim Betrieb einer Photovoltaikanlage unterscheidet man zwei Arten: den Inselbetrieb, wenn keine Kopplung des Stromkreises mit der öffentlichen Stromversorgung vorliegt, sowie netzgekoppelte Anlagen, wenn die Anlage direkt in das öffentliche Netz einspeisen kann. Dazu muß der erzeugte Gleichstrom in Wechselstrom umgeformt werden, was mittels Wechselrichter durchgeführt wird.

3.1. Inselanlagen

Photovoltaik-Modul, Batterie und Laderegler sind die Grundelemente für eine Stromversorgung auch abseits jeder Zivilisation. Auf alpinen Schutzhütten, Jagd- und Ferienhäusern, sind sie darüber hinaus auch relativ kostengünstig und jedenfalls problemloser als ein geräusch- und emissionsreicher Dieselmotor.

Die Systemspannung einer Inselanlage ist üblicherweise 12 Volt Gleichspannung, bei größeren Anlagen aber auch 24 oder 48 Volt. Für die 12 Volt Spannung, aber auch für die anderen Spannungsebenen sind eine Vielzahl von Geräten erwerbbar (Beleuchtung, Radio, Kühlschrank, Staubsauger, Fernsehgerät, Pumpen,...).

Wenn Verbraucher mit anderen Betriebsspannungen verwendet werden müssen, ist der Einsatz eines Gleichspannungswandlers notwendig.

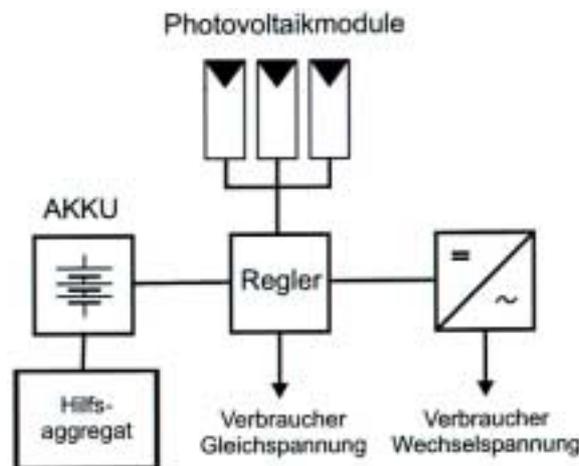


Bild: Prinzipieller Schaltplan einer Inselanlage

Quelle: „SOLARSTROM“, H. Wilk; ARGE Erneuerbare Energie, Gleisdorf

Will man Geräte verwenden, die für den Anschluß an 220 Volt Wechselstrom (übliche Haushalt-Stromversorgung) vorgesehen sind, so ist der Einsatz eines Wechselrichters unumgänglich.

Er verschlechtert durch seine betriebsbedingten Verluste den Wirkungsgrad der Anlage etwas, kann aber in Inselanlagen auch nur zeitweise - bei Verwendung eines Wechselstromgerätes - zwischengeschaltet werden.

Viele Wechselstromgeräte aus dem Gebiet der Unterhaltungselektronik werden intern mit Gleichstrom betrieben, und können meist einfach auf Gleichstrombetrieb umgebaut werden. Dabei arbeiten diese Geräte auch noch wirtschaftlicher, weil die Verluste des eingebauten Transformators entfallen.

Bei größeren Insel-Anlagen ist es sinnvoll, einen sogenannten "Maximum Power Tracker" (MPT) - einen elektronischen Anpassungswandler - einzusetzen. Der MPT bringt oft eine nicht unwesentliche Steigerung des Energieertrages der Anlage.

Das Einsatzgebiet von inselbetriebenen Anlagen ist sehr groß. Beginnend bei den bereits erwähnten Berghütten, über Wochenend- und Ferienhäuser, über Wohnmobile bis hin zur Unterstützung oder Alleinversorgung auf Ferienbooten sind im Freizeitbereich viele Anwendungsmöglichkeiten denkbar.

Ein weiterer großer Einsatzbereich liegt im Verkehr (Beleuchtung, Notrufsäulen, Parkuhren, Baustellenbeleuchtung etc.). Auch für die Beleuchtung netzfern installierter Werbetafeln sind Solarmodule häufig im Einsatz.

Im Bereich der Sicherungstechnik gibt es nahezu wartungsfreie Systeme am Markt, ein Infrarotmelder ist mit einem Scheinwerfer oder einer Sirene gekoppelt – da die Leistungen von Hupen und Sirenen gering sind genügt eine Anlage mit einem 10 W (peak) Modul. Spezielle Infrarot Bewegungsmelder für 12 V werden auch angeboten.

Im Bereich der Landwirtschaft werden Photovoltaik - Module für den Betrieb von Weidezäunen oder für Bewässerungsaufgaben eingesetzt. Auch in der Fischzucht werden PV – Systeme zur Anreicherung von Wasser mit Sauerstoff verwendet.

Weit verbreitet ist auch der Einsatzbereich bei netzfernen Meßstationen. Und darüber hinaus sollen die zahlreichen Kleinanwendungen vom Taschenrechner bis zur Uhr und verschiedenen Spielzeugen nicht vergessen werden.

Diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, soll jedoch einen Eindruck von der Vielfalt der Anwendungsbereiche geben.

3.2. Netzparallelbetrieb

Die Photovoltaik Anlage für Netzparallelbetrieb besteht aus folgenden Komponenten: Photovoltaikgenerator, Generatoranschlußkasten, Gleichstromfreischaltstelle, Wechselrichter, Stromkreisverteiler, Einspeisungs- und Bezugszähler, Hausanschlußkasten.

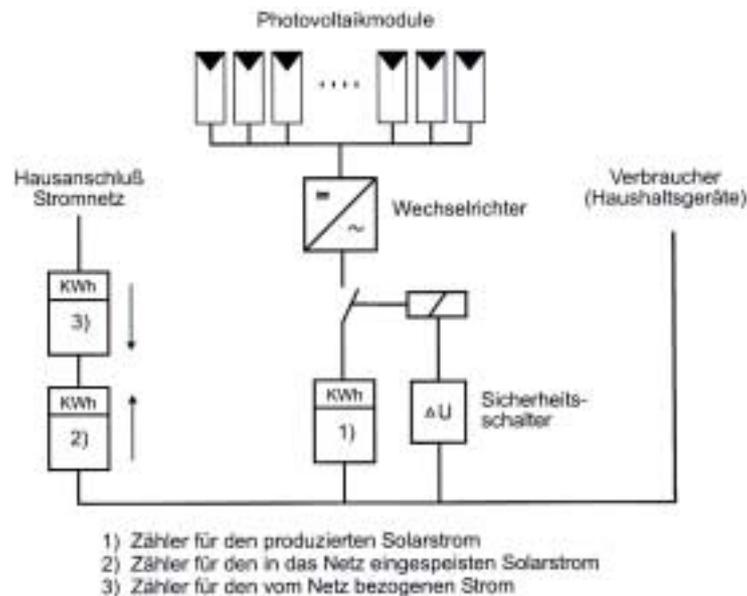


Bild: Prinzipieller Schaltplan einer netzgekoppelten Anlage

Quelle: „SOLARSTROM“, H. Wilk; ARGE Erneuerbare Energie, Gleisdorf

Wie die meisten Solartechniken ist auch die Photovoltaik für dezentralen Einsatz prädestiniert, das heißt Verbrauch am Ort des Entstehens, doch besteht auch die Möglichkeit, eine direkte Verbindung zum öffentlichen Versorgungsnetz herzustellen; das setzt einen Wechselrichter voraus, der die von den Zellen erzeugte Gleichspannung in eine Wechselspannung wandelt. Die Qualität dieser Umwandlung und andere Vorschriften für die Netzeinspeisung sind exakt festgelegt und beschrieben /2/.

Sicherheitstechnische Aspekte sind auch im Entwurf der ÖNORM/ÖVE E 2750 „Photovoltaische Energieerzeugungsanlagen, Sicherheitsanforderungen“ vom 26.2.1996 festgelegt.

Die Inbetriebnahme der Anlage muß durch einen konzessionierten Elektriker erfolgen, wobei auch Aspekte des Blitzschutzes und der Erdung beachtet werden müssen. Ein Gebäude erfordert aufgrund des Einbaues einer Photovoltaik-Anlage keine Blitzschutzanlage. Ist aber eine solche vorhanden, so sind die Richtlinien nach ÖVE E 49 und ÖNORM E 2980 zu beachten.

Vor allem für die Planung großer PV – Anlagen ist es sinnvoll **Computerprogramme** einzusetzen und damit die Auslegungen der Anlagen zu optimieren. Wichtige Eingabedaten dabei sind z.B. der Modultyp, die Art der Verschaltung, Orientierung und Neigung der Module, Klimadaten des Aufstellungsortes (Globalstrahlungsverteilung und Lufttemperaturen im Jahreslauf) und die Wechselrichterspezifikation. Eine Aktuelle Auflistung von Simulationsprogrammen findet man z.B. in /8/.

Im Zusammenhang mit Photovoltaik Modulen auf Ein- und Mehrfamilienhäusern stellt sich die Frage nach optimaler Gebäudeintegration. In letzter Zeit wurden Photovoltaik Module auch vermehrt in Fassaden integriert, oder als gesamte Dachfläche eingebaut. Der gestalterische Spielraum für den Architekten wächst durch neue Entwicklungen bei den Abdeckgläsern, die in unterschiedlichen Farben und Mustern produziert werden können.

3.3. Wechselrichter

Für Inselanlagen werden Wechselrichter - wie oben erwähnt - nur für den Fall benötigt, daß man handelsübliche 220 V Wechselstromgeräte betreiben möchte.

Für netzparallele Anlagen ist ein Wechselrichter aber eine unumgängliche Notwendigkeit. Von den Photovoltaik-Modulen wird ein Gleichstrom erzeugt, der in einen Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hertz umgeformt werden soll.

Aufgaben des Wechselrichters:

- Absolut synchroner Betrieb mit dem Verbundnetz
- sofortige Abschaltung bei Netzausfall
- keine Leistungsaufnahme aus dem Netz
- Schutz gegen Überspannungen (Blitzeinkopplung)
- Einhaltung der maximalen Oberschwingungswerte
- keine Erzeugung hochfrequenter Störspannungen
- meist übernehmen sie auch die Funktion des "Maximum Power Trackings", das heißt sie sorgen dafür, daß die Solarzellen im Punkt maximaler Leistung arbeiten.

Kosten für marktübliche Wechselrichter: bei einer 1,8 kW Anlage ist mit etwa ATS 10.000.- - 15 000.- zu rechnen.

3.4. Ausrichtung der Photovoltaik-Module

Folgende Grundsatzregel für die Ausrichtung der Module bei nicht nachgeführten Anlagen sollte zur Anwendung gelangen:

Orientierung möglichst in Südrichtung. Der Neigungswinkel bei fix installierten Modulen ist abhängig davon, wann eine optimale Leistungsausbeute erzielt werden soll. Für Leistungsmaximierung über das Jahr kann ein Wert zwischen 25° und 45° als guter Kompromiß bezeichnet werden. In Gegenden mit hohem Anteil an diffuser Strahlung (städtische Bereiche), gelten 30°-35° als ideal. Bei Aufstellung im alpinen Bereich ist eine etwas stärkere Neigung (auch über 45°) sinnvoll, was erhöhte Produktion im Winter (v. a. durch Schneereflexion) und leichteres Abrutschen des Schnees zur Folge hat. Neigungen unter 20° sollten nach Möglichkeit vermieden werden, da neben der schlechteren Ausbeute auch der Selbst-Reinigungseffekt durch den Regen bei diesen Anordnungen geringer, und ein Abrutschen von Schnee nahezu verhindert wird.

3.5. Nachführung der Photovoltaik-Module

Die Sonne wandert im Lauf des Tages aus östlicher Richtung kommend über Süden nach Westen. Da die Solarmodule ihre maximale Leistung dann abgeben, wenn die Sonne möglichst direkt auf sie trifft, erhöht eine nachgeführte Anlage die Energieausbeute über den Tag. Auch steht im Winter die Sonne tiefer als im Sommer, was eine saisonale Nachführung überlegenswert macht. Aus diesen beiden Gründen gibt es ein- und zweiachsige nachgeführte Photovoltaik-Anlagen.

Der Energiegewinn aus nachgeführten Anlagen ist vom Standort abhängig, und kann bei zweiachsiger Nachführung in unseren Regionen bis zu 25% betragen (bis 50% bei Standort Sahara)

Die Nachführung, die die Tageseinstrahlung optimieren soll, muß automatisiert werden (z.B. mittels elektronisch gesteuerter Stellmotoren); eine saisonale Nachführung kann von Hand aus erfolgen.

Bei zu aufwendiger Ausführung der Nachführung stellt sich stets die Frage, ob der dadurch erzielte Mehrertrag nicht ebenso durch zusätzliche Solarmodule zu erreichen ist. Eine einfache aber effektive Nachführung ist hydraulischer Art: Dabei wird durch eine - abhängig vom Sonnenstand - unterschiedlich erwärmte Flüssigkeit eine Bewegung der Module erreicht.

3.6. Leistungsausbeute einer Photovoltaikanlage

Die von einer Solarzelle abgegebene Leistung ist abhängig von der Sonnenstrahlung; an einem klaren Sommertag werden in unseren Breitengraden etwa 1100 Watt pro Quadratmeter auf die Solarzellen gestrahlt.

Mit einem Systemwirkungsgrad von 10% entspricht das einer elektrischen Leistung von 110 Watt pro Quadratmeter Solarzellenfläche. Da in den Leitungen, beim Wechselrichter, bzw. beim Laderegler und bei der Speicherung (Batterie) Verluste auftreten, kann als grober Richtwert 100 Watt (0,1 kW) pro Quadratmeter installierter Zellenfläche angenommen werden.

Die Leistung ist im wesentlichen abhängig von:

- Modulfläche, bzw. aktive Solarzellenfläche
- Leistungscharakteristik der Zellen (Wirkungsgrad)
- Standort (meteorologische Daten, Sonnenscheindauer, geographische Breite, Höhenlage, Reflexionen, Abschattung)
- Ausrichtung (Abweichung von Südorientierung, Neigung)
- eventuelle Nachführung der Module
- Temperatur am Aufstellungsort
- eventuelle Wechselrichterverluste oder Verluste durch Laderegler und Speicherung
- Verwendung und Qualität des Maximum Power Trackers

3.7. Speicher

Vor allem bei Inselanlagen sind Speichersysteme notwendig, um auch bei geringer Strahlungsintensität elektrische Energie zur Verfügung zu haben.

Prinzipiell muß man zwischen Kurzzeitspeicherung (Stunden bis Tage, zur Überbrückung von Schlechtwetterperioden) und Langzeitspeicherung (zur Überbrückung von jahreszeitlichen Schwankungen der Strahlungsintensität) unterscheiden. Letztere sind sehr aufwendig, daher werden die PV – Generatoren so groß ausgelegt, daß sie auch im Winter ausreichend Strom liefern. Eine andere Möglichkeit besteht darin, zusätzliche Generatoren (Wind oder Diesel) einzusetzen.

Für die Speicherung elektrischer Energie über kurze und mittlere Zeiträume verwendet man elektrochemische Elemente – also Akkumulatoren (oder auch Batterien genannt). Am meisten verbreitet ist der sogenannte Bleiakku, der Aufbau des Akkus für eine Solaranlage unterscheidet sich nur geringfügig von einer herkömmlichen Kfz – Batterie.

Es ist wichtig den Akku vor Überladung und Tiefentladung zu schützen. Bei Tiefentladung entsteht Bleisulfat in kristalliner Form, das beim Aufladen nur unvollständig rückgewandelt wird. Der Akku leidet also dauerhaft.

Beim Laden des Akkus beginnt er ab einer Spannung von 14,4 V zu gasen (Wasser wird durch Elektrolyse in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt). Deshalb muß auch immer wieder Wasser nachgefüllt werden. Häufiges und längeres Gasen schadet dem Akku.

Andere Akkumulatortypen

Außer Bleiakkus werden NiCd (Nickel – Cadmium) oder NiMH (Nickel – Metall – Hydrid) Akkus verwendet. Sie haben gegenüber dem herkömmlichen Bleiakku einige Vorteile, wie längere Lebensdauer, höherer Betriebstemperaturbereich, höhere zulässige Lade- und Entladeströme und geringere Probleme mit der Tiefentladung.

Nachteile sind jedenfalls die höheren Kosten und die Tatsache, daß die Kapazität eines NiCd Akkus sinkt, wenn er nur selten aufgeladen wird.

3.8. Kosten

Eine sehr gute Darstellung der Anschaffungskosten für eine Photovoltaikanlage und die daraus entstehenden Stromkosten findet man in der Marktübersicht 1994/1995 „Photovoltaik Anlagen“ (Jürgen Leuchtner, Klaus Preiser, Öko-Institut e.V., Deutschland).

Leistungsgröße		1 kW (peak)	3 kW (peak)	30 kW (peak)
Spezifische Systemkosten	DM/ kW p	21 000.-	18 000.-	17 000.-
Investitionskosten	DM	21 000.-	54 000.-	510 000.-
Kapitalkosten	DM/ Jahr	1 344.-	3 456.-	32 640.-
Wartungskosten	DM/ Jahr	105.-	270.-	2 550.-
Ges. jährl. Kosten	DM/ Jahr	1 449.-	3 726.-	35 190.-
Energieausbeute	KWh/ Jahr	1 000.-	3 000.-	30 000.-
Stromerzeugungskosten	DM/ kWh	1,45	1,24	1,17

Die Nutzungsdauer wurde mit 25 Jahren angenommen, die spezifische jährliche Energieausbeute 1000 kWh/ kW und Jahr.

3.9. Photovoltaik im Verbundnetz

Für die zentrale öffentliche Energieversorgung gilt bei photovoltaischer Netzeinspeisung in großem Rahmen folgendes: Den Lastfluß betreffend ähnelt im jahreszeitlichen Verlauf die Photovoltaik der Wasserkraft (Sommerspitze, Wintertief) im Tagesgang hat die Photovoltaik den Vorteil, daß die mittägliche Verbrauchsspitze im Netz mit der Erzeugungsspitze der Solarzellen zusammenfällt.

Ein Netzbetrieb ohne Photovoltaik muß sichergestellt sein (Schlechtwetterperiode), der photovoltaische Anteil ist wie die Wasserkraft-Speicher als Spitzenkapazität zu betrachten, die fehlende Winterkapazität könnte in einem ökologisch durchdachtem Energiekonzept durch kalorische Ergänzung auf Basis Biomasse erfolgen (Kraft-Wärmekopplung);

Wie groß kann der Anteil an photovoltaischem Strom im österreichischen Verbundnetz sein?

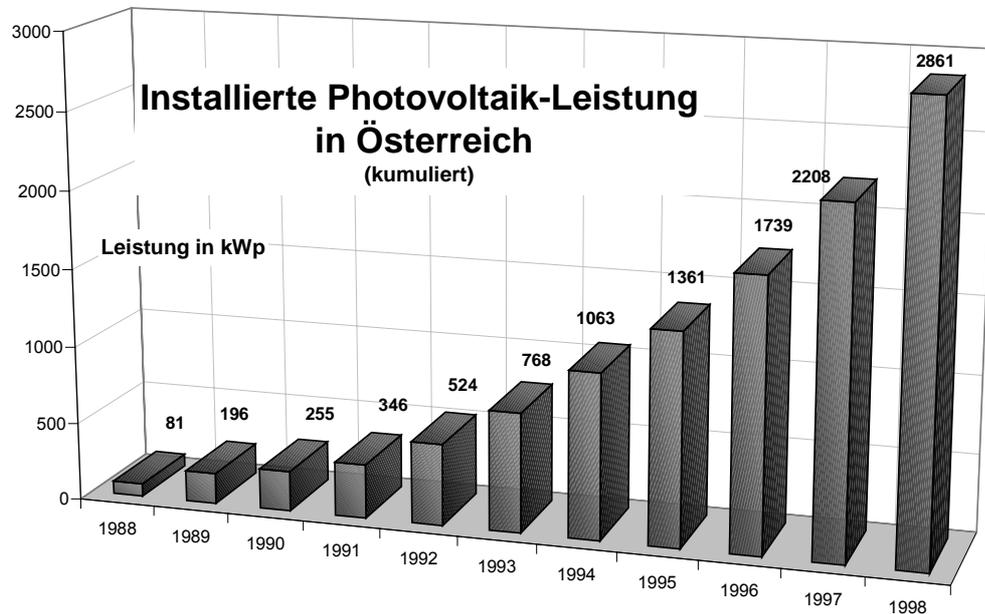
In der derzeitigen Situation könnte unter den heute gegebenen netztechnischen Voraussetzungen (Fluktuation der Photovoltaik-Leistung, Kurzschlußleistung des Netzes) 3500 MW photovoltaische Leistung ins Netz eingespeist werden, was derzeit rund 7% des heutigen Strombedarfes bedeutet (aus /7/). Derzeit sind in Österreich noch unter 3 MW (peak) installiert.

Besondere Regelstrategien könnten eine wesentliche Vergrößerung dieses Anteils herbeiführen, wenn Verbraucher entsprechend der Solarstromproduktion zu- und abgeschaltet werden.

Das neue ELWOG (Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz) entspricht den Vorgaben der EU – Strommarktliberalisierung. Es schreibt unter anderem vor, daß in Österreich bis zum Jahre 2005 drei Prozent des Stromes aus regenerativen Energieträgern (ohne Wasserkraft) zu stammen haben. Das entspricht 1 500 Mio. kWh – so viel wie 375 000 Haushalte im Jahr verbrauchen. Die Ausführungsgesetze des ELWOG müssen von den Ländern beschlossen werden, darin sind auch Einspeisetarife für Strom aus erneuerbarer Energie festgelegt. In Vorarlberg soll demnach z.B. 1,531 ATS/ kWh bezahlt werden, im Burgenland zwischen 1 und 2 ATS /kWh je nach Tageszeit, in Niederösterreich 1,78 ATS / kWh, in Tirol 3,8 ATS /kWh. Wien, Steiermark und Salzburg vergüten jeweils unter 1 ATS/ kWh. Ausschließlich in Kärnten wird die Photovoltaik mit 10.- ATS/ kWh deutlich gefördert.

Aufgrund der derzeit noch geringen Wirtschaftlichkeit von netzgekoppelten Photovoltaik – Anlagen wären Einspeisetarife, wie in Kärnten notwendig, um die Verbreitung dieser Technologie zu fördern.

4. MARKTDATEN



Quelle: Prof. Faninger, Marktübersicht Photovoltaik, Wirtschaftskammer Österreich

Die ersten Inselanlagen in Österreich entstanden 1987 auf der Baumgartlalm und am Hochleckenhaus. Die erste netzparallele Anlage ging in Österreich 1987 in Gmunden in Betrieb.

Auf Schutzhütten in den österreichischen Bergen stehen nun mittlerweile eine Vielzahl von Insel-Anlagen, die oft die lauten und nicht gerade geruchsfreien Dieselgeneratoren ersetzen, und den Hüttenwirten den Treibstofftransport ersparen.

Das für einige Zeit größte Solarstromkraftwerk steht entlang der Westautobahn bei Seewalchen mit einer Spitzenleistung von 40.000 Watt. Die Inbetriebnahme erfolgte im Februar 1992, die installierte Modulfläche beträgt 357m².

Die derzeit in Österreich größte Anlage ist in Steyr in Oberösterreich im Einsatz. Dort wurden 70 kW vom Brillenwerk Hartlauer installiert.

In der Anfangsphase wurde diese Entwicklung durch den Photovoltaik-Breitentest (1992) gefördert: In Österreich wurde vom Verband der E-Werke, dem Wirtschaftsministerium und den lokalen Elektrizitätsversorgungsunternehmen vereinbart 200 kW (peak) Photovoltaik großzügig zu fördern: rund 100 private Stromerzeuger betreiben nun im Rahmen dieses Programms eine netzparallele Anlage. Der Betrieb der Anlagen wurden über mehrere Jahre untersucht, vor allem in Hinsicht auf Betriebssicherheit, Zuverlässigkeit und Leistung.

In Österreich wurden im Jahr 1998 photovoltaische Systeme mit einer Gesamtleistung von ca. 653 kW (peak) installiert. Das entspricht einer Zunahme von 39% im Vergleich

zum Vorjahr (1997). Der bevorzugte Solarzellentyp für die im Jahr 1998 installierten Photovoltaikanlagen war die polykristalline Solarzelle mit einem Anteil von 90%.

Insgesamt (kumuliert über die Jahre) waren im Jahr 1998 in Österreich Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 2 861 kW (peak) im Einsatz. Davon entfallen 59,4% auf netzgekoppelte Anlagen, 21,4 % Anlagen im Inselbetrieb und 19,2% auf diverse Kleingeräte.

Der am meisten verbreitete Solarzellentyp ist die polykristalline Solarzelle mit 71,8%, an zweiter Stelle liegt die monokristalline Solarzelle mit 27,4%, sehr schwach sind amorphe Solarzellen mit 0,7% vertreten.

Gereicht nach Bundesländern führt Oberösterreich mit 34,9% (der gesamten in Österreich installierten Leistung), gefolgt von der Steiermark mit 14,9% und Niederösterreich mit 13,5%.

Diese und weitere statistischen Angaben findet man in /5/.

5. DIE ZUKUNFT DER PHOTOVOLTAIK

Seit mehr als 100 Jahren steigt der weltweite Energieverbrauch exponentiell an. Das heißt konkret, daß ein Anstieg um 5% eine Verdopplung des Verbrauchs alle 14 Jahre bewirkt. Zwei Gründe sprechen dafür, daß der Energieverbrauch auch in Zukunft stark steigen wird. Einerseits nimmt die Industrialisierung weltweit stetig zu (z. B. China), was zu höherem Energieverbrauch führt. Andererseits wächst die Weltbevölkerung exponentiell, die Wachstumsrate zeigt steigende Tendenz (die Bevölkerung verdoppelt sich in immer kürzeren Abständen). Daher ist auch mit einem weiteren exponentiellen Anstieg des globalen Energieverbrauchs zu rechnen, mit dem auch, bei Einsatz von fossilen Energieträgern, ein massiver Anstieg des Kohlendioxids in der Atmosphäre verbunden sein wird.

Selbst wenn heute ein Energiesparprogramm starten würde, welches zu einer Verbrauchsminderung von 50% führen würde, wird dieser Effekt durch das exponentielle Wachstum des Verbrauchs innerhalb von 20 Jahren aufgehoben.

Zusammengefaßt bedeutet dies, daß der globale Energieverbrauch stetig wächst, die derzeit genutzten Ressourcen (fossile Brennstoffe) jedoch nur mehr sehr beschränkt zur Verfügung stehen (Szenarien sprechen von 30 – 90 weiteren Jahren).

Unter diesen Umständen werden in den kommenden Jahren große Änderungen in der gesamten Energieversorgung der Menschheit passieren müssen.

Was wird die Photovoltaik in Zukunft zur gesamten Energieversorgung beitragen? Der derzeitige Beitrag der Photovoltaik zur Weltenergieversorgung ist verschwindend gering. Doch ein überzeugender Vorteil dieser Technologie ist ihre universelle Anwendbarkeit. Dies umfaßt sowohl die Art der Anwendung, als auch die Anlagengröße und die geographische Lage. Photovoltaik kann an jedem Ort der Erde Energie liefern. Und das zumindest theoretische Potential ist nahezu unbegrenzt.

Der theoretisch mögliche Wirkungsgrad konventioneller Siliziumzellen liegt bei 28%. Weiterentwicklungen werden immer wieder bekannt (Tandemzellen, Photoelektrochemische Solarzellen,.../4/) und lassen Wirkungsgrade von Solarzellen bis über 50% theoretisch möglich scheinen. In Labortests wurden bisher Wirkungsgrade von maximal 37% erreicht. /3/

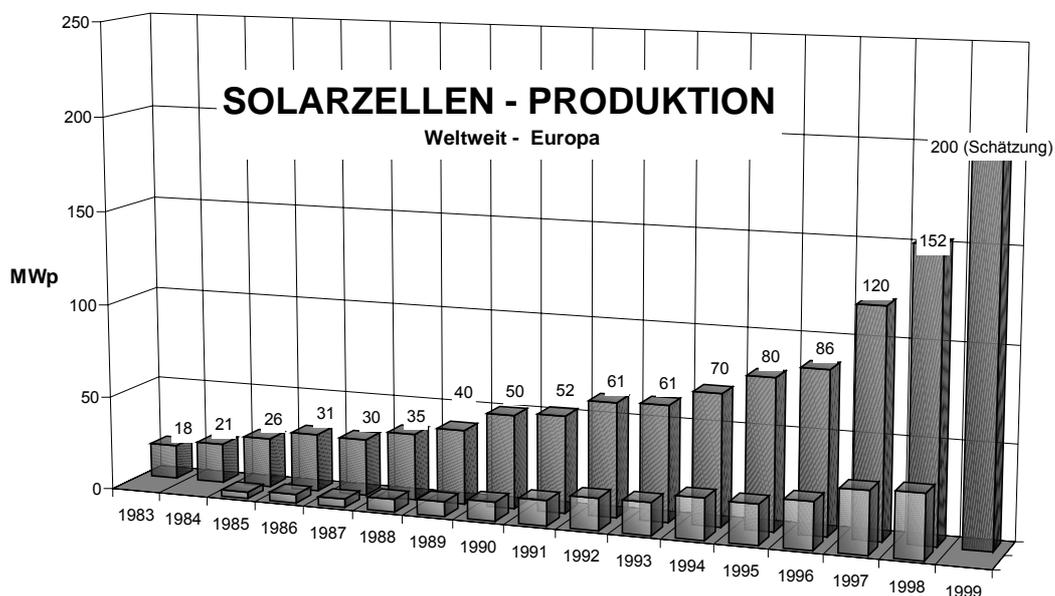
Die heute erhältlichen Photovoltaik-Module sind nach derzeitigem technischen Stand ausgereift und zuverlässig, wie bei jeder technischen Entwicklung werden aber auch bei der Photovoltaik durch einen größeren Markt Weiterentwicklungen verstärkt gefördert. Besonders viele Chancen werden auch der amorphen Silizium-Technologie eingeräumt; aufgrund der einfachen Herstellung wird vielfach in diese Zellen die größte Hoffnung gesteckt. Doch auch bei den kristallinen Silizium-Zellen ist eine Effizienzsteigerung bei der Herstellung, sowie eine Erhöhung der Wirkungsgrade zu erwarten.

Laufend bauen große Solarzellenproduzenten ihre Produktionskapazitäten aus, auch werden erstmals Solarzellenfabriken in der Größenordnung von 25 MW/ Jahr komplett neu geplant und errichtet (z.B. Shell Solar in Gelsenkirchen, Werk Alzenau von ASE – NUKEM, Kyocera in Japan). Damit ist mit einer weiteren wesentlichen Reduktion bei Investitionskosten zu rechnen.

Heute sind Inselfsysteme – gemessen an ihrer Anzahl, nicht an der Leistung – den netzgekoppelten Anlagen weit voraus. Für viele dezentrale Aufgaben (Meßstationen, Anlagen im Verkehrsbereich, Almhütten etc.) sind Photovoltaikanlagen bereits heute wirtschaftlich attraktiv. Ein ganz wesentlicher Aspekt ist aber der, daß etwa 2 Mrd. Menschen derzeit nicht an ein Stromnetz angeschlossen sind und daß das aus heutiger Sicht auch nicht leistbar sein wird. Photovoltaik – Anlagen im Inselbetrieb sind eine gute und (im Vergleich zum Aufbau eines Netzes) sehr kostengünstige Variante, die erforderliche Stromversorgung sicherzustellen.

In Europa wird der Ausbau netzgekoppelter Anlagen noch über einen längeren Zeitraum von Förderungen und der Einstellung besonders umweltbewußter Konsumenten abhängig sein.

Wenn die Photovoltaik den Schritt von der derzeit schon oft konkurrenzlosen solaren Inselversorgung zur haushaltsüblichen Stromversorgung mit Überschuß - Einspeisungsmöglichkeit, bzw. Bezug vom Versorgungsnetz machen wird, dann wird auch über Energiespeicherung vermehrt nachzudenken sein. Ein durchaus sinnvolles Konzept könnte dabei die elektrolytische Energiespeicherung sein (Speicherung mittels Wasserstoff).



6. LITERATUR

/1/ H.Wilk, Betriebsergebnisse von österreichischen Photovoltaikanlagen mit Netzkopplung, Tagungsband Solar 92, Symposium Gleisdorf/Stmk.

/2/ "Selbsttätige Freischaltstelle für Photovoltaikanlagen einer Nennleistung $\leq 4,6$ kVA und einphasiger Paralleleinspeisung über Wechselrichter in das Netz der öffentlichen Versorgung"; Entwurf DIN VDE 0126 vom April 1999

/3/ H.Häberlin, Photovoltaik-Strom aus Sonnenlicht für Inselanlagen und Verbundnetz, AT-Verlag Aarau 1997

/4/ D.Meissner (Hrsg.) Solarzellen, Physikalische Grundlagen und Anwendungen in der Photovoltaik, Vieweg-Verlag Braunschweig 1993

/5/ Gerhard Faninger, Die Marktentwicklung der Solar- und Wärmepumpentechnik in Österreich, Berichtsjahr 1998 mit der Marktstatistik 1998 „Photovoltaik in Österreich“, Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr.

/6/ Hadamovsky/ Jonas, Solarstrom Solarwärme, Kamprath Reihe, Vogel Verlag

/7/ Manfred Sakulin, ÖVE, Die Problematik bei der photovoltaischen Stromeinspeisung in das öffentliche Netz, e&i, 1992, H 7/ 8

/8/ Photon, November/ Dezember 98, Software, S 54, Solar Verlag GmbH